

POWERED BY **Dialog**

X-RAY GENERATOR**Publication Number:** 2000-089000 (JP 2000089000 A) , March 31, 2000**Inventors:**

- KAMITAKA NORIAKI
- KONDO HIROYUKI

Applicants

- NIKON CORP

Application Number: 10-259060 (JP 98259060) , September 14, 1998**International Class:**

- G21K-005/02
- H01L-021/027
- H05H-001/24

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an X-ray generator capable of obtaining an axis- symmetrical parallel light flux in a soft X-ray generator which targets a gas. **SOLUTION:** A target gas supply nozzle 1 is arranged in a vacuum vessel, gas jetted therefrom is adiabatically expanded to lower temperature so as to be a cluster. A plasma 3 is generated by irradiating it with pulse laser light 2, and a soft X-ray is emitted from the plasma 3. Since the generation position of the plasma 3 is positioned at the focus of a multi-layer film rotation parabolic mirror 4, the soft X-ray is reflected by the multi-layer film rotation parabolic mirror 4 to become an X-ray parallel light flux 5, which is emitted to the outside. The pulse laser light 2 is substantially simultaneously emitted from four directions. In the case of irradiation with a single beam of the pulse light, the angular distribution of the soft X-ray intensity is slightly biased to an irradiated side, a substantially symmetrical soft X-ray intensity distribution is obtained for the axis of the target gas supply nozzle 1. **COPYRIGHT:** (C)2000,JPO

JAPIO

© 2006 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 6503284

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-89000
(P2000-89000A)

(43) 公開日 平成12年3月31日 (2000.3.31)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 2 1 K 5/02		G 2 1 K 5/02	X 5 F 0 4 6
H 0 1 L 21/027		H 0 5 H 1/24	
H 0 5 H 1/24		H 0 1 L 21/30	5 3 1 S

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 10 頁)

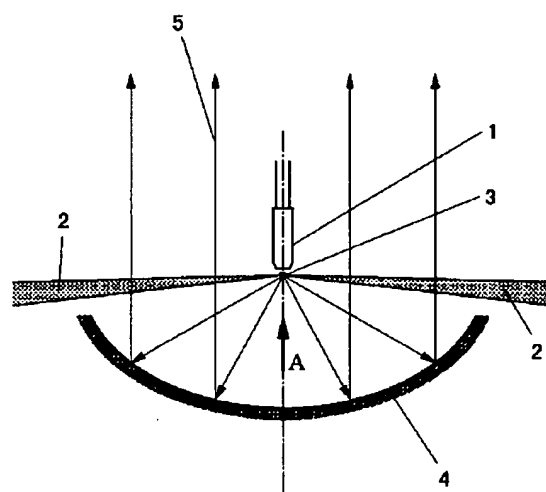
(21) 出願番号	特願平10-259060	(71) 出願人	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(22) 出願日	平成10年9月14日 (1998.9.14)	(72) 発明者	神高 典明 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
		(72) 発明者	近藤 洋行 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
		(74) 代理人	100094846 弁理士 細江 利昭 Fターム(参考) 5F046 GA09 GB01 GB09 GC03

(54) 【発明の名称】 X線発生装置

(57) 【要約】

【課題】 ガスを標的材とした軟X線発生装置においても、略軸対称な平行光束が得られるX線発生装置を提供する。

【解決手段】 真空容器中に標的ガス供給ノズル1が配置されており、そこから噴出されたガスは、断熱膨張して温度が下がり、クラスターとなる。それにパルスレーザー光2を照射することによりプラズマ3が発生し、プラズマ3から軟X線が放出される。プラズマ3の発生位置は、多層膜回転放物面鏡4の焦点に位置しているので、この軟X線は、多層膜回転放物面鏡4によって反射されてX線平行光束5となり外部に放射される。パルスレーザー光2は、4方向からほぼ同時に照射される。単一のパルス光が照射された場合、軟X線強度の角度分布は照射された側にやや偏っているが、このように4方向から照射することによって、標的ガス供給ノズル1の軸に対してほぼ対称な軟X線強度分布が得られる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 排気装置によって減圧可能な容器中に、気体を噴出するノズルが配置され、当該ノズルから間欠的又は連続的に噴出されたガス分子又はそのクラスターに励起エネルギービームを集光してプラズマ化することにより軟X線を発生させるX線発生装置であって、プラズマ生成位置を焦点とする回転放物面形状を有する軟X線反射鏡（回転放物面反射鏡）を備えたことを特徴とするX線発生装置。

【請求項 2】 請求項 1 に記載のX線発生装置であって、前記ノズルと前記回転放物面反射鏡が、互いの中心軸が一致するように配置され、前記ノズルは、前記励起エネルギービームの中心軸が、前記ノズル部分を通過しないような位置に配置されていることを特徴とするX線発生装置。

【請求項 3】 請求項 1 又は請求項 2 に記載のX線発生装置であって、気体を前記回転放物面反射鏡の回転対称軸に沿った方向に噴出させるように前記ノズルが配置され、当該ノズルから噴出されたガス分子又はそのクラスターに複数の方向から励起エネルギービームが照射されることを特徴とするX線発生装置。

【請求項 4】 請求項 3 に記載のX線発生装置であって、前記複数のエネルギービームの光軸は、前記回転放物面反射鏡の回転対称軸に垂直な平面に投影したときに、略等角度間隔をなすことを特徴とするX線発生装置。

【請求項 5】 請求項 3 又は請求項 4 に記載のX線発生装置であって、前記複数方向から照射される励起エネルギービームが、略同じ強さであり、略同時に照射されることを特徴とするX線発生装置。

【請求項 6】 請求項 3 又は請求項 4 に記載のX線発生装置であって、前記複数方向からの励起エネルギービームが、1 つあるいは複数のビームごとに照射され、何度かの照射の後には各方向からの照射回数と照射強度の積の和がほぼ等しくなるように励起エネルギービームが照射されることを特徴とするX線発生装置。

【請求項 7】 請求項 1 から請求項 6 のうちいずれか 1 項に記載のX線発生装置であって、前記回転放物面反射鏡が、焦点位置を有する軟X線に対して反射面上のどの入射位置についても同一の反射波長を有するように膜厚分布が制御された多層膜を表面に有することを特徴とするX線発生装置。

【請求項 8】 請求項 1 から請求項 7 のうちいずれか 1 項に記載のX線発生装置であって、プラズマから放射されるX線で、前記回転放物面反射鏡に入射するX線以外のX線のうち、X線発生装置から外部に放出されるものの少なくとも一部を遮蔽する部材を設けたことを特徴とするX線発生装置。

【請求項 9】 請求項 1 から請求項 8 のうちいずれか 1 項に記載のX線発生装置であって、プラズマから放射さ

れるX線のうち、前記回転放物面反射鏡に入射するX線以外のX線が放射される立体角内に、反射光をプラズマの生成位置又はその近傍に集光させる反射鏡を設けたことを特徴とするX線発生装置。

【請求項 10】 請求項 1 から請求項 9 のうちいずれか 1 項に記載のX線発生装置であって、前記ノズルから噴出されるガスがキセノン（Xe）ガス、クリプトン（Kr）ガス、酸素（O₂）ガス、若しくはこれらの気体を含む混合気体、又はこれらの原子を含む気体化合物であることを特徴とするX線発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、気体またはそのクラスターに励起エネルギービームを当ててプラズマ化し、軟X線を発生させるX線発生装置に関するものであり、さらに詳しくは、略軸対象な平行光束を得ることができるX線発生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 現在、半導体集積回路の製造においては、マスク上に形成された非常に微細なパターンを、可視光あるいは紫外光によって、レジストを塗布したシリコンウェハ上に縮小投影して転写する方法が広くおこなわれている。しかし、パターンサイズの微細化に伴い紫外光でも回折限界に近づいており、紫外光よりさらに波長の短い、波長13nmあるいは11nmの軟X線を用いた縮小投影露光が提案されている。

【0003】 波長13nmあるいは11nmの軟X線を用いる場合、その光源（軟X線源）の 1 つの候補として考えられているのが、レーザープラズマX線源（以下LPXと記す）である。レーザー装置からのパルス出射光を物質に集光・照射すると、その照射強度が $10^{10}\text{W}/\text{cm}^2$ を超えるような場合、物質の原子はその強力な電場によって電子をはぎ取られてプラズマ化し、そのプラズマからは軟X線が輻射される。このプラズマから輻射される軟X線の輝度は非常に高く、しかも、LPXはシンクロトロン放射光発生施設などと較べると装置としては非常にコンパクトである。そのためLPXは軟X線縮小投影露光だけでなく、X線顕微鏡や分析装置などの線源として非常に有望である。

【0004】 このLPXを軟X線縮小投影露光に用いる際、大きな問題となるのは飛散粒子の発生である。金属などの固体を標的材として励起レーザー光を照射した場合、プラズマを形成していたイオンや、プラズマの急激な膨張により吹き飛ばされ、プラズマ近傍の標的材が周囲に飛び散る。発生した軟X線を利用するために、プラズマの周囲には多層膜鏡や薄膜フィルタなどの軟X線光学素子が配置されるが、飛散粒子はこの表面に堆積し、その光学的性能（反射率、透過率など）を低下させる。軟X線縮小投影露光においては、高い繰返し周波数（例えば1 KHz以上）で長期間（数カ月）に亘ってプ

ラズマが発生され続けるので、飛散粒子の発生量も膨大なものとなる。よって、この飛散粒子の発生をどのように抑制するかが大きな課題となっていた。

【0005】Kublakらは、この飛散粒子の問題を解決するためにガスを標的材としたLPXを提案した(USP5,577,092)。この方法は、真空容器内にノズルから超音速で気体を噴出させることで断熱膨張により気体分子のクラスターを形成させ、そのクラスターにレーザー光を照射することでプラズマを発生させるものである。標的材が常温では気体の物質であるために、プラズマ形成後に周囲に拡散しても軟X線光学素子表面に堆積することはない、その光学的性能は低下することがない。これによって軟X線光学系のミラーの寿命は 10^9 ショットにも達すると報告されている。

【0006】ガスを標的としたLPXを実際に軟X線縮小投影に利用しようとした場合には、飛散粒子の発生以外にもいくつかの問題がある。軟X線縮小投影露光においては、回折限界に近い非常に微細なパターンを形成するために、マスクを照明する照明光学系にも様々な要求がなされる。このような要求を満たすものとして、特願平10-047400号公報に提案されているX線照明光学系の例を図9に示す。

【0007】軟X線発生装置(不図示)からの軟X線平行光束21は、多光源形成光学素子22、23で反射され、集光ミラー24、平面鏡25を介してマスク26の表面を照射する。マスク26で反射された軟X線は、縮小投影光学系27により、マスク26面に形成されたパターンの像をシリコンウェハ28上に縮小転写する。

【0008】この照明光学系を用いる軟X線縮小投影においては投影される領域が輪帯円弧状をなしている。よって、照明されるべきマスク26上の領域も輪帯円弧状であり、その領域を照明するために、多光源形成光学素子22、23として図10に示されるようなフライアイミラーを用いている。このフライアイミラーに軸対称な平行光束が入射することにより、照明領域を無駄なく均一に照明し、しかもマスク上のどの方向を持つパターンについても等しい解像度を得られる照明が実現できる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかし、ガスを標的材としたLPXでは軟X線は周囲に発散するように拡がり、放出される軟X線強度の角度分布は均一ではなく、また、形成されるプラズマの形状も球対称ではない。よって、ガスを標的材としたLPXを用いて、軸対称な軟X線の平行光束を得ることは困難とされていた。

【0010】本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、ガスを標的材とした軟X線発生装置においても、略軸対称な平行光束が得られるX線発生装置を提供することを課題とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するため

の第1の手段は、排気装置によって減圧可能な容器中に、気体を噴出するノズルが配置され、当該ノズルから間欠的又は連続的に噴出されたガス分子又はそのクラスターに励起エネルギービームを集光してプラズマ化することにより軟X線を発生させるX線発生装置であって、プラズマ生成位置を焦点とする回転放物面形状を有する軟X線反射鏡(回転放物面反射鏡)を備えたことを特徴とするX線発生装置(請求項1)である。

【0012】本手段においては、プラズマ生成位置を焦点とする回転放物面形状を有する軟X線反射鏡(回転放物面反射鏡)が備えられているので、プラズマから発生した軟X線は、回転放物面反射鏡により反射されて、回転放物面反射鏡の光軸に平行で軸対称な平行光束となる。

【0013】前記課題を解決するための第2の手段は、前記第1の手段であって、前記ノズルと前記回転放物面反射鏡が、互いの中心軸が一致するように配置され、前記ノズルは、前記励起エネルギービームの中心軸が、前記ノズル部分を通過しないような位置に配置されていることを特徴とするもの(請求項2)である。

【0014】本手段においては、前記ノズルと前記回転放物面反射鏡が、互いの中心軸が一致するように配置されているので、ノズルが、軟X線の平行光束を光軸に対して非対称に遮ることがない。よって、軸対称な平行光束を得ることができる。また、ノズルは、励起エネルギービームの中心軸が、ノズル部分を通過しないような位置に配置されているので、励起エネルギービームがノズルに到達し、ノズルから飛散物質が発生して周囲に飛散することがない。

【0015】前記課題を解決するための第3の手段は、前記第1の手段又は第2の手段であって、気体を前記回転放物面反射鏡の回転対称軸に沿った方向に噴出させるように前記ノズルが配置され、当該ノズルから噴出されたガス分子又はそのクラスターに複数の方向から励起エネルギービームが照射されることを特徴とするもの(請求項3)である。

【0016】本手段においては、気体を前記回転放物面反射鏡の回転対称軸に沿った方向に噴出させるように前記ノズルが配置されているので、容易にノズルの中心軸と回転放物面鏡の中心軸を一致させることができ、ノズルが軟X線の平行光束を光軸に対して非対称に遮ることがないようにすることができる。また、このような配置にすると、ノズルから噴出されたガス分子又はそのクラスターに複数の方向から励起エネルギービームを照射することが容易になり、このようにすることにより、軟X線の平行光束を光軸に対して対称とすることが容易になる。

【0017】前記課題を解決するための第4の手段は、前記第3の手段であって、複数のエネルギービームの光軸は、前記回転放物面反射鏡の回転対称軸に垂直な平面

に投影したときに、略等角度間隔をなすことを特徴とするもの（請求項4）である。

【0018】本手段においては、複数のエネルギービームの光軸をこのように配置することにより、軟X線の平行光束を光軸に対して対称とすることが容易になる。略同じ角度とは、X線発生装置に要求されるX線強度の光軸対称性の精度に応じて、ある程度の角度の差が許されることを意味し、その程度は、X線発生装置の設計仕様に依じて、当業者が任意に選択できる。また、「略等角度」という範囲には全く同じ角度をも含むことは言うまでもないことであり、このことは、本明細書で使用する「略」という表現に共通するものである。

【0019】前記課題を解決するための第5の手段は、前記第3の手段又は第4の手段であって、複数方向から照射される励起エネルギービームが、略同じ強さであり、略同時に照射されることを特徴とするもの（請求項5）である。

【0020】本手段においては、励起エネルギービームの照射方法をこのようにすることにより、軟X線の平行光束を光軸に対して対称とすることができる。略同じ強さ、略同時とは、X線発生装置に要求されるX線強度の光軸対称性の精度に応じて、ある程度の強さの差、照射タイミングの差が許されることを意味し、その程度は、X線発生装置の設計仕様に依じて、当業者が任意に選択できる。

【0021】前記課題を解決するための第6の手段は、前記第3の手段又は第4の手段であって、複数方向からの励起エネルギービームが、1つあるいは複数のビームごとに照射され、何度かの照射の後には各方向からの照射回数と照射強度の積の和がほぼ等しくなるように励起エネルギービームが照射されることを特徴とするもの（請求項6）である。

【0022】X線発生装置の使用対象によっては、X線の被照射対象物が一定時間静止している場合がある。この場合には、この静止している期間中に各部分に照射されるX線の量の積分値が、全ての部分について同一であれば、照射むらのない照射が可能である。本手段においては、複数方向からの励起エネルギービームが、1つあるいは複数のビームごとに照射されるが、何度かの照射の後には各方向からの照射回数と照射強度の積の和がほぼ等しくなるようにされているので、一定期間静止している物体に照射むらのない照射が可能である。

【0023】前記課題を解決するための第7の手段は、前記第1の手段から第6の手段のいずれかであって、回転放物面反射鏡が、焦点位置を発した軟X線に対して反射面上のどの入射位置についても同一の反射波長を有するように膜厚分布が制御された多層膜を表面に有することを特徴とするものである。

【0024】回転放物面鏡に入射する軟X線の入射角は、場所によって異なるので、多層膜を構成する膜厚を

一定にしておくと、場所によって反射率が最大となる軟X線の波長が異なってくる。本手段においては、焦点位置を発した軟X線に対して反射面上のどの入射位置についても同一の反射波長を有するように膜厚分布が制御されているので、回転放物面鏡のどの部分に入射する軟X線に対しても反射率が一定となり、軟X線の平行光束を光軸に対して対称とすることができる。

【0025】前記課題を解決するための第8の手段は、前記第1の手段から第7の手段のいずれかであって、プラズマから放射されるX線で、前記回転放物面反射鏡に入射するX線以外のX線のうち、X線発生装置から外部に放出されるものの少なくとも一部を遮蔽する部材を設けたことを特徴とするもの（請求項8）である。

【0026】プラズマから発生する軟X線は、回転放物面鏡で反射されれば平行光束となるが、そうでないものは平行光束を構成しない。よって、回転放物面鏡で反射されない光がX線発生装置から外部に放出されると、光束の平行性を乱すことになる。本手段においては、このような回転放物面鏡で反射されずに外部に放出されるX線の少なくとも一部を遮蔽する部材が設けられているので、軟X線の平行光束を光軸に対して対称とすることができる。このようなX線の全部を遮蔽するのが理想的であることは言うまでもないが、要求されるX線発生装置の使用に依じて、遮蔽の範囲を選択することができる。

【0027】前記課題を解決するための第9の手段は、前記第1の手段から第8の手段のいずれかであって、プラズマから放射されるX線のうち、前記回転放物面反射鏡に入射するX線以外のX線が放射される立体角内に、反射光をプラズマの生成位置又はその近傍に集光させる反射鏡を設けたことを特徴とするもの（請求項9）である。

【0028】本手段においては、前記第8の手段と同じ効果が得られるばかりでなく、反射光をプラズマの生成位置又はその近傍に集光させることにより、プラズマの温度を上げ、そこから発生するX線の量を大きくすることができる。

【0029】前記課題を解決するための第10の手段は、前記第1の手段から第9の手段のいずれかであって、ノズルから噴出されるガスがキセノン（Xe）ガス、クリプトン（Kr）ガス、酸素（O₂）ガス、若しくはこれらの気体を含む混合気体、又はこれらの原子を含む気体化合物であることを特徴とするものである。これらの気体は、プラズマを形成するための標的物質として好適である。

【0030】

【発明の実施の形態】本発明の軟X線光束形成装置は、プラズマから輻射された発散する軟X線を回転放物面鏡によって平行光束に変換する。さらに、好ましくは、標的材であるガスを供給するノズルが平行光束を非対称に遮らない配置とし、供給されたガスに複数の方向から励

起レーザー光を同時に照射することによりプラズマの形状をより対称なものに近づけるものである。これによって、軸対称な軟X線の平行光束を得ることができる。

【0031】本発明の実施の形態である軟X線発生装置の、基本部分の構成の概要を図1を用いて説明する。図1において、1は標的ガス供給ノズル、2はパルスレーザー光、3はプラズマ、4は多層膜回転放物面鏡、5はX線平行光束である。真空容器中（不図示）に標的ガス供給ノズル1が配置されており、ガスが噴出された位置にパルスレーザー光2を集光・照射できるようになっている。噴出されたガスは、断熱膨張して温度が下がり、クラスターとなる。それにパルスレーザー光2を照射することによりプラズマ3が発生し、プラズマ3から軟X線が放出される。プラズマ3の発生位置は、多層膜回転放物面鏡4の焦点に位置しているため、この軟X線は、多層膜回転放物面鏡4によって反射されてX線平行光束5となり外部に放射される。

【0032】標的ガス供給ノズル1はほぼ軸対称な形状をしており、ガスが噴出する開口は対称軸上にある。図1の配置を矢印Aの方向から見た図を図2に示す。以下の図においては、発明の実施の形態の欄において、前出の図に示された構成要素と同じ構成要素には、同じ符号を付してその説明を省略する。

【0033】パルスレーザー光2は、ほぼ等角度間隔（約90°）で、4方向からほぼ同時に照射される。単一のパルス光が照射された場合、軟X線強度の角度分布は照射された側にやや偏っているが、このように4方向から照射することによって、標的ガス供給ノズル1の軸に対してほぼ対称な軟X線強度分布が得られる。標的ガス供給ノズル1が持つ対称軸に対して対称なプラズマを得る方法として、図1のような配置において矢印A方向から励起レーザー光を照射する方法があるが、この場合、励起レーザー光はガスに完全に吸収されてしまわない限り標的ガス供給ノズル1に到達する。よって、ノズル1から飛散物質が発生して周囲に飛散するため好ましくない。

【0034】図3に、あまり好ましくない標的ガス供給ノズル1の配置とパルスレーザー光2の照射方法の例を示す。ガス供給ノズルを図3のように配置した場合にも、プラズマ3から発した軟X線は多層膜回転放物面鏡4によってX線平行光束5に変換される。ただし、標的ガス供給ノズル1によってX線平行光束5が軸に対して非対称に遮られる。標的ガス供給ノズル1などが十分に細くない場合には、この非対称性が問題となる。また、クラスターに当たらなかったパルスレーザー光2がガス供給ノズル1に到達して、ガス供給ノズル1を削り取り、飛散物質が生じるという問題点もある。

【0035】これに対し、図1に示した実施の形態では、ガス供給ノズル1は多層膜回転放物面鏡4の対称軸上に配置されているため、X線平行光束5を非対称に遮

ることがないので、軸対称な平行光束を得ることができ、かつ、パルスレーザー光2が標的ガス供給ノズル1に当たることもないので、より好ましい。

【0036】図4、図5に、本発明の実施の形態である軟X線発生装置の第1の例の概略図を示す。図4は、装置の縦断面図であり、図5は、図4の配置を矢印B方向から見たものである。図4、図5において、6は真空容器、7はガス供給管、8はレーザー光導入窓、9は支持柱である。

【0037】真空容器6内部に標的ガス供給ノズル1が配置されており、この標的ガス供給ノズル1には高圧のクリプトン（Kr）ガスがガス供給管7を通じて供給されている。標的ガス供給ノズル1から噴出したガスは急速に拡散し、図4中、下側にある引き口から排気されるが、真空容器6内と引き口の先には液体窒素トラップ（不図示）が配置されており、クリプトンを固化して回収できるようになっている。これにより、クリプトンガスを繰り返し使用することができ、ランニングコストを低く抑えることができる。

【0038】真空ポンプによる排気によって、真空容器6内は少なくとも0.1Torr以下の圧力に保たれている。ノズルの噴出口から1mm程度の位置には、レーザー光導入窓8を通じて4方向からNd:YAGレーザーからのパルスレーザー光2が集光・照射されている。この4つのパルスレーザー光は、1つのレーザー光発生装置から射出したパルス光をビームスプリッターで等しく4つに分けたものである。このとき、各4つのレーザービームの光軸は、そのいずれもが同一とならないようになっている。これは、プラズマを透過した光が反対側の光軸を逆方向に進行し、レーザー装置が破壊されることがないようにするためである。

【0039】プラズマ3から放射された軟X線は、プラズマ位置に焦点を持つ多層膜回転放物面鏡4によって反射され、X線平行光束5となる。多層膜回転放物面鏡4は4つの部分に分割されており、パルスレーザー光2は、それぞれの多層膜回転放物面鏡4の部分の間を通過して、標的ガスに照射されている。このため、形成された平行光束は完全には軸対称ではなく、4つの扇形の部分に分かれている。標的ガス供給ノズル1は支持柱9によって固定されているが、この支持柱9は4つの扇形の光束の間になるように配置されており、標的ガス供給ノズル1にガスを供給しているガス供給管7も、同様に4つの光束を遮らない位置に配置されている。

【0040】また、励起レーザー光は、図中、やや下側から多層膜回転放物面鏡4の間を通過して照射されている。この配置によって、励起レーザー光の一部が標的ガスを透過してしまった場合にも、標的ガス供給ノズル1や多層膜回転放物面鏡4に直接入射してしまう恐れはない。また、軟X線は励起レーザー光の照射方向にやや偏った強度分布を有するため、多層膜回転放物面鏡がより

多くの軟X線を受けとめる点でも有利である。

【0041】この実施の形態においては、標的ガス供給ノズル1がX線平行光束5の内側に配置されるため、標的ガス供給ノズル1が光束を遮ってしまう。よって、軸に垂直な方向の断面積ができるだけ小さな標的ガス供給ノズル1を使用し、利用できる軟X線量をできるだけ多くすることが望ましい。また、支持柱9もノズルの位置が変化しないように十分な強度を持ちながら、なおかつ光軸を遮る断面積ができるだけ小さいものであることが望ましい。

【0042】また、本実施の形態では、発生する軟X線光束の進行方向と標的ガス供給ノズル1から噴出される気体の方向とは逆方向であるが、発生する軟X線の進行方向はこれに限るものではなく、たとえば、標的ガス供給ノズルから噴出される気体の方向と同一でもよい。

【0043】図6に本発明の実施の形態である軟X線発生装置の第2の例の概略図を示す。この実施の形態においては、発生する軟X線の進行方向は、標的ガス供給ノズルから噴出される気体の方向と同一である。プラズマから軟X線採り出し方向に直接輻射された軟X線が平行光束とならず、問題となる可能性があるため、それに対する対策が講じられている。図8において、10は軟X線フィルターである。

【0044】第1の実施の形態と同様に、真空容器6内部に標的ガス供給ノズル1が配置されており、高圧のクリプトン(Kr)ガスがガス供給管7を通じて供給されている。噴出したガスに4方向からパルスレーザー光2が集光されてプラズマ3が生成される。噴出したクリプトンガスが液体窒素トラップによって回収されている点、及び、プラズマ3から輻射された軟X線が多層膜回転放物面鏡4によってX線平行光束5に変換される点も、第1の実施の形態と同様である。

【0045】第1の実施の形態との違いは、クリプトンガスが噴出される方向と、形成されるX線平行光束5の進行方向が同一である点である。本実施の形態においては、多層膜回転放物面鏡4に入射するX線量をできるだけ多くするために、ノズルの先端部分が細いことが望ましい。また、平行光束5が入射する光学素子(不図示)に、平行光束でないプラズマ3からの軟X線が直接入射しないように、遮蔽部を備えた軟X線フィルタ10を配置している。

【0046】図7に、遮蔽部を備えた軟X線フィルタ10をプラズマ3側から見た図を示す。図7において、11はX線透過部、12はX線遮蔽部である。プラズマ3から直接放射された軟X線のうち、周辺部に向かうものは、真空容器6の壁面等で吸収され、X線発生装置の外部には出ないので、これを遮蔽する必要がない。よって、軟X線フィルタ10の周辺部は、X線透過部11で形成され、X線平行光束5がこの部分を通して外部に放出されるようになっている。X線透過部11は厚さ

1 μm 以下のシリコン薄膜で形成されている。シリコン薄膜は波長13nmの軟X線に対して透過率が高いため、このフィルタを使用すれば軟X線平行光束を通過させることができる。

【0047】これに対し、プラズマ3から直接放射された軟X線のうち、中央部を通るものは平行光束とならないまま外部に放出されるので、この部分にはX線遮蔽部12を設けて、軟X線を遮蔽する。X線遮蔽部12は、金属薄膜によって形成されている。

【0048】図8に本発明の実施の形態である軟X線発生装置の第3の例の概略図を示す。図8において、13は多層膜反射鏡である。本実施の形態の構成の大部分は図6に示した実施の形態と同じである。違う点は、遮蔽部を備えた軟X線フィルタ10の代わりに、略半球型が多層膜反射鏡13でプラズマ3の位置付近に中心を有するものを配置している点である。この多層膜反射鏡13は、平行光束5が入射する光学素子(不図示)にプラズマ3からの軟X線が直接入射しないように遮っているだけでなく、入射した軟X線を反射してプラズマ発生位置あるいはその近傍に集光している。

【0049】プラズマ発生位置に集光した場合には、これによりプラズマは再加熱されて高温を保ち、軟X線の発生量が増加する。プラズマ近傍に集光した場合にはプラズマ近傍を通過した軟X線はプラズマから直接発した軟X線とほぼ同様な光路を持つため、その一部は多層膜回転放物面鏡4に入射し、X線平行光束5を形成する。

【0050】以上の実施の形態においては定常的にガスを噴出しているが、真空ポンプの排気速度が充分でなく、充分な軟X線の透過率を確保できる圧力にまで排気できない場合には、単位時間当たり供給されるガスの量を低減させるために間欠的にガスの噴出をおこなってもよい。この場合、励起レーザーパルス光の照射はガスの噴出と同期をとっておこなう必要がある。

【0051】また、以上の実施の形態においては、4方向から励起レーザー光を照射しているが、照射方向の数はこれに限るものではなく、プラズマの形状の不均一性が問題とならない場合には1方向からの照射でも良い。

【0052】さらに、以上の実施の形態においては、1つのレーザー光を4等分してプラズマ形成位置に集光しているが、各ビームは1つのビームを分割したものに限るものではなく、各ビーム間相互で同期がとれるならば別のレーザー光発生装置から発生したものでもよい。また、複数のレーザービームそれぞれの強度は、多層膜鏡の軸に対してプラズマが略対称になるように調整されていることが望ましく、そのようなプラズマを形成できるならば、各レーザービームの波長は同一でなくともよい。

【0053】加えて、以上の実施の形態においては、各レーザービームをほぼ同時に照射しているが、照射は同時におこなわれるものに限るものではない。レーザーパ

ラズマから発した軟X線を平行光束に変換して図9における平行光束21とすると、レーザープラズマはパルス光源であるために、マスク上のある一点は数回ないし数十回にわたって間欠的に照明される。照明の均一性として問題になるのは、マスク上の各位置ごとの時間的な積分照射強度であるため、この数回ないし数十回の照明の間に各レーザービームの照射強度の積分値の平均化がなされ、結果としてマスクが一様に照明されていけばよい。

【0054】以上の実施の形態においては、平行光束を形成するのに4つに分割した回転放物面鏡を利用しているが、この分割する数はこれに限るものではなく、また、分割しなくてもよい。

【0055】また、以上の実施の形態においては、プラズマを発生させるガスとして、クリプトン(Kr)ガスをうっているが、キセノン(Xe)ガス、酸素(O₂)ガス、若しくはこれらの気体を含む混合気体、又はこれらの原子を含む気体化合物を用いてもよい。

【0056】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のうち請求項1に係る発明においては、プラズマから発生した軟X線は、回転放物面反射鏡により反射されて、回転放物面反射鏡の光軸に平行で軸対称な平行光束となる。

【0057】請求項2に係る発明においては、ノズルが軟X線の平行光束を光軸に対して非対称に遮ることがないので、軸対称な平行光束を得ることができる。また、励起エネルギービームの中心軸が、前記ノズル部分を通過しないような位置に配置されているので、励起エネルギービームがノズルに到達して、ノズルから飛散物質が発生して周囲に飛散することがない。

【0058】請求項3に係る発明においては、ノズルが軟X線の平行光束を光軸に対して非対称に遮ることがないようにすることができる。また、このような配置にすると、ノズルから噴出されたガス分子又はそのクラスターに複数の方向から励起エネルギービームを照射することが容易になる。これにより、軟X線の平行光束を光軸に対して対称とすることが容易になる。

【0059】請求項4に係る発明においては、複数のエネルギービームの光軸が回転放物面形状の対称軸に垂直な平面に投影したときに互いに略同じ角度を形成するので、軟X線の平行光束を光軸に対して対称とすることが容易になる。

【0060】請求項5に係る発明においては、複数方向から照射される励起エネルギービームが、略同じ強さであり、略同時に照射されるので、軟X線の平行光束を光軸に対して対称とすることができる。

【0061】請求項6に係る発明においては、何度かの照射の後には各方向からの照射回数と照射強度の積の和がほぼ等しくなるようにされているので、一定期間静止している物体に照射むらのない照射が可能である。

【0062】請求項7に係る発明においては、焦点位置を発した軟X線に対して反射面上のどの入射位置についても同一の反射波長を有するように膜厚分布が制御されているので、回転放物面鏡のどの部分に入射する軟X線に対しても反射率が一定となり、軟X線の平行光束を光軸に対して対称とすることができる。

【0063】請求項8に係る発明においては、回転放物面鏡で反射されないX線の少なくとも一部を遮蔽する部材が設けられているので、軟X線の平行光束を光軸に対して対称とすることができる。

【0064】請求項9に係る発明においては、反射光をプラズマの生成位置又はその近傍に集光させることにより、プラズマの温度を上げ、そこから発生するX線の量を大きくすることができる。

【0065】請求項10に係る発明においては、適当なガスを標的物質として使用しているため、効率的に軟X線を発生させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態である軟X線発生装置の、基本部分の構成の概要を示す図である。

【図2】図1に示した軟X線発生装置を別の方向から見た概要を示す図である。

【図3】あまり好ましくない標的ガス供給ノズル1の配置とパルスレーザー光2の照射方法の例を示す図である。

【図4】本発明の実施の形態である軟X線発生装置の第1の例の概略図(縦断面図)である。

【図5】図4に示した軟X線発生装置を別の方向から見た概略図である。

【図6】本発明の実施の形態である軟X線発生装置の第2の例の概略図(縦断面図)である。

【図7】図6に示す軟X線発生装置を別の方向から見た概略図である。

【図8】本発明の実施の形態である軟X線発生装置の第3の例の概略図(縦断面図)である。

【図9】従来のX線照明光学系の例を示す概略図である。

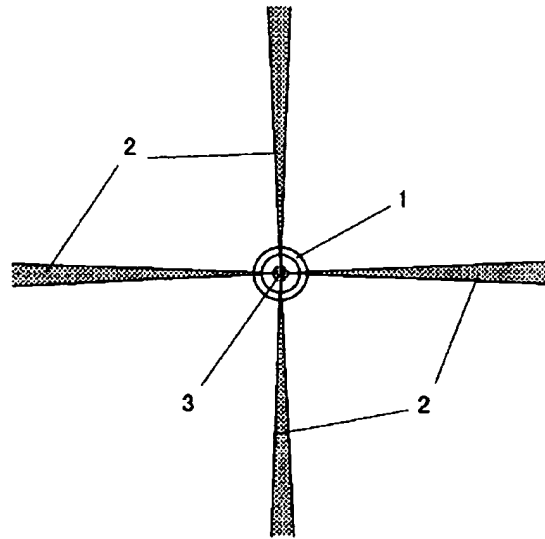
【図10】X線照明光学系に使用されているフライアイミラーを示す図である。

【符号の説明】

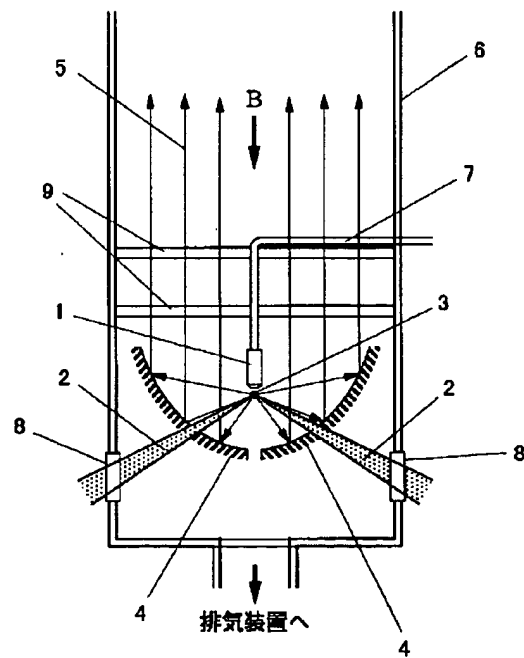
- 1…標的ガス供給ノズル
- 2…パルスレーザー光
- 3…プラズマ
- 4…多層膜回転放物面鏡
- 5…X線平行光束
- 6…真空容器
- 7…ガス供給管
- 8…レーザー光導入窓
- 9…支持柱
- 10…軟X線フィルター

1 3...多層膜反射鏡

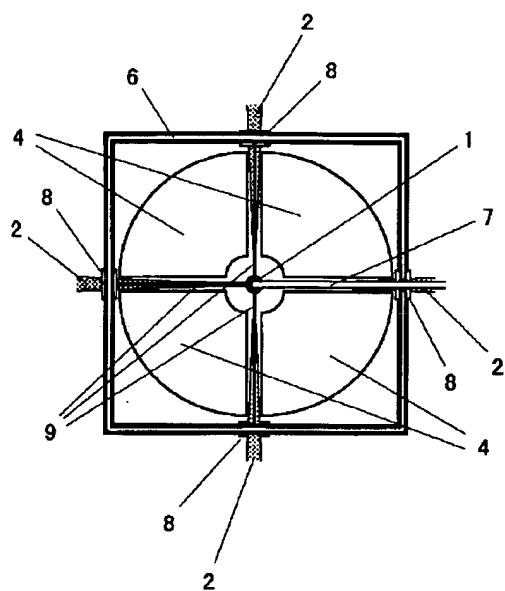
【图 2】



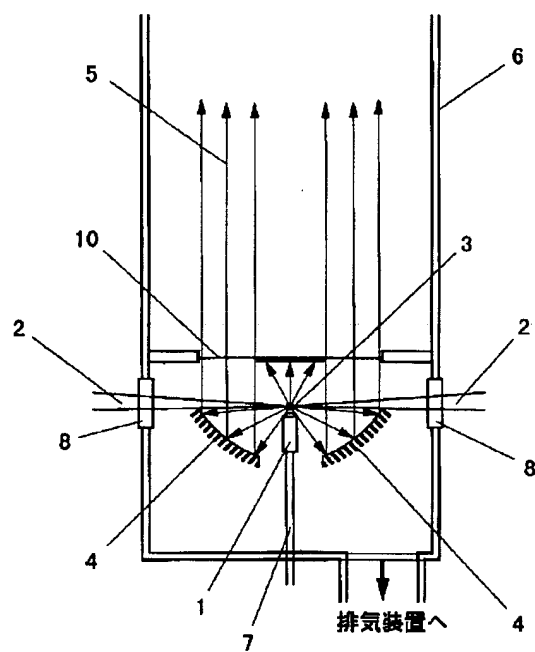
【図 4】



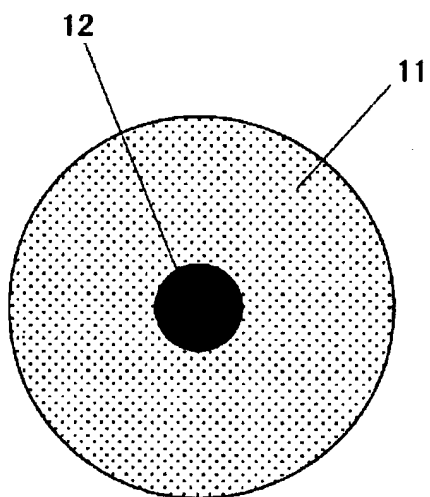
【図5】



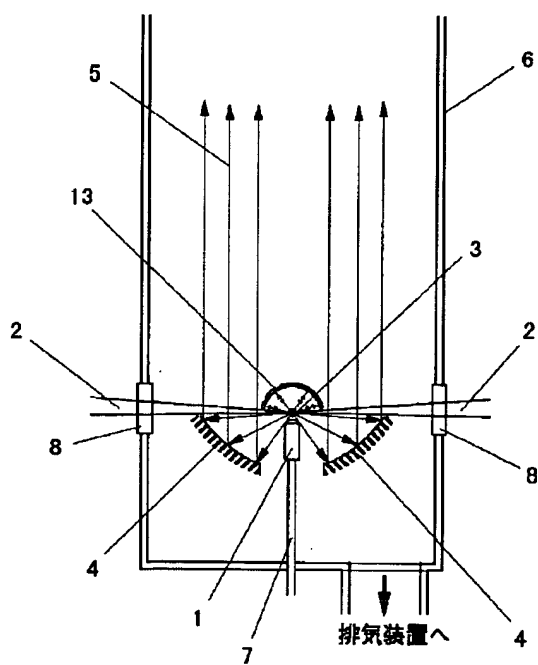
【図6】



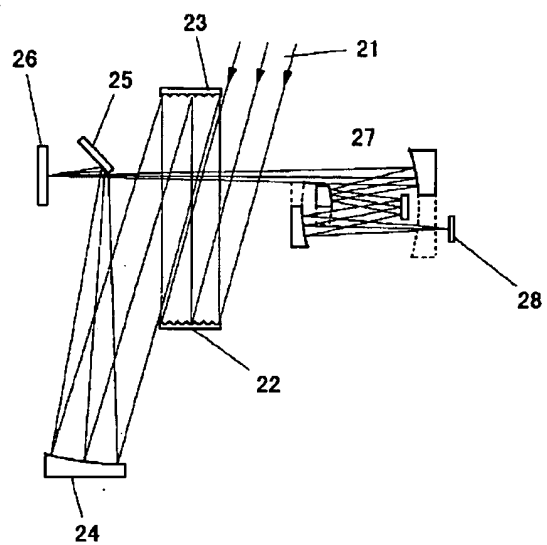
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

